

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ДИСПЕРСНОГО ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА
АНТРОПОГЕННОГО ГЕНЕЗИСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММ-
ТЕХНОЛОГИИ**

The article describes the experience of using IMM technology geopolymerization anthropogenic soils by the example of disperse anthropogenic soil formation - primary screening of organic MSW. Produced a comprehensive assessment of physical-mechanical, sanitary-hygienic, organoleptic and economic indicators obtained geopolymer GUT.

Введение. Эффективность реализации ИММ-технологии предлагается рассмотреть на примере такого дисперсного техногенного грунта антропогенного образования как первичный органо-минеральный отсев (ОМО) мусоросортировки твердых коммунальных отходов. ОМО образуется на коммунально-производственных предприятиях оказывающих услуги по обращению с отходами производства и потребления в процессе обработки поступающего техногенного продукта на комплексах автоматизированной сортировки, в количестве 10-15 % от объема поступающего отхода. Физико-механические свойства отсева в существенной мере зависят от морфологического состава исходного ТКО, который в свою очередь является многофакторной функцией и зависит от территориального, демографического, сезонного, экономического, технико-технологического, культурного и др. параметров, кроме того, динамично изменяются во времени благодаря процессам естественного биоразложения и обезвоживания, виду чего получение даже усредненных физико-механических показателей, с приемлемой долей погрешности, не представляется возможным. С экологической точки зрения ОМО, ввиду высокого содержания органических веществ (до 75% от массы) и отсутствия механизмов отдельного сбора отходов ТКО в России, является носителем патогенной микрофлоры, подвержен процессам естественного биоразложения (гниения) и аккумулирует в себе экотоксиканты различной природы, в первую очередь химические вещества (тяжелые металлы) I и II группы экологической опасности (ртуть, цинк, свинец, хром, медь и др.). Содержащимся в ОМО загрязнителям характерны высокие показатели миграционной активности, что обуславливает высокий (III-IV) класс

геоэкологической опасности органоминерального отсева как потенциального и долгосрочного источника поступления (вымывания/выщелачивания) поллютантов в окружающую среду [1].

С целью оценки эффективности применения ИММ-технологии для геополимеризации органоминерального отсева (ОМО) [2], включая геоэкологические и конструкционные параметры полученного из ОМО геополимера, был проведен комплекс санитарно-химических и физико-механических лабораторных исследований образцов материала – геополимера ГУТ, изготовленных с использованием ОМО, полученного на одном из коммунально-производственных предприятий г. Санкт-Петербурга. На базе одного из ведущих операторов по обращению с отходами ТКО в СЗФО, была организована опытная площадка геополимеризации органоминерального отсева с применением ИММ-технологии, давшая возможность произвести апробацию и отладку технологических операций получения геополимера из ОМО и осуществить среднесрочное наблюдение за динамикой изменением параметров устойчивости материала во времени.

Программа проведения опытных испытаний включала проведение лабораторных исследований с целью практического подтверждения возможности получения геокомпозита ГУТ с использованием ОМО, определение фокусных рецептур ГУТ, разработку регламента производства работ, получение сравнительных физико-механических характеристик образцов материала, изготовленного в лабораторных условиях и на опытной площадке, формирование общего массива данных, с последующим его анализом [3].

На основании, предварительно проведенном теоретическом исследовании ожидаемых физико-механических характеристик ГУТ, изготовленного с использованием ОМО, были определены граничные условия к рецептурам и осуществлен выбор целевых рецептуры, для дальнейшей апробации их на опытной площадке, а именно:

- Фокусная рецептура №1 с минимальным и достаточным количеством компонентов для сохранения во времени структуры материала: 70% отсева ТКО + 15% глины + 10% МКД + 5% цемента;
- Фокусная рецептура №2 с оптимальным с точки зрения физико-механических характеристик и экономических показателей количеством компонентов : 70% отсева ТКО+14% глины +8% МКД +8% цемента;
- Фокусная рецептура №3 с максимально возможным, с точки зрения экономической целесообразности, количеством компонентов: 55% отсева ТКО + 20% глины + 15% МКД +10% цемента.

Целью испытаний ставились:

Цели исследования. Поставленные цели реализации опытного участка включали:

- анализ соответствия отдельных физико-механических характеристик материала ГУТ, изготовленного из ОМСС по трем фокусным рецептурам на опытной площадке, показателям ГУТ, полученным в лабораторных условиях;
- определение возможности достижения расчетных показателей степени уплотнения в ограниченном объеме с использованием средств малой механизации (виброплиты);
- анализ динамики набора прочности техногенного массива в натуральных условиях в сопоставлении с лабораторными данными;
- демонстрация улучшения органолептических характеристик ГУТ в сравнении с ОМО;
- исходя из полученных результатов, осуществить выбор наиболее экономически оптимальной рецептуры ГУТ.

Регламент производства работ на опытной площадке предусматривал организацию трех техногенных массивов (соответствующих каждой из трех фокусных рецептур) в ограниченном по средствам деревянной опалубки пространстве (рисунок 1), с последующим их уплотнением с помощью средств малой механизации (ручная виброплита массой 100 кг.). Смешивание компонентов производилось в роторном бетоносмесителе принудительного действия объемом рабочим объемом 200 л.

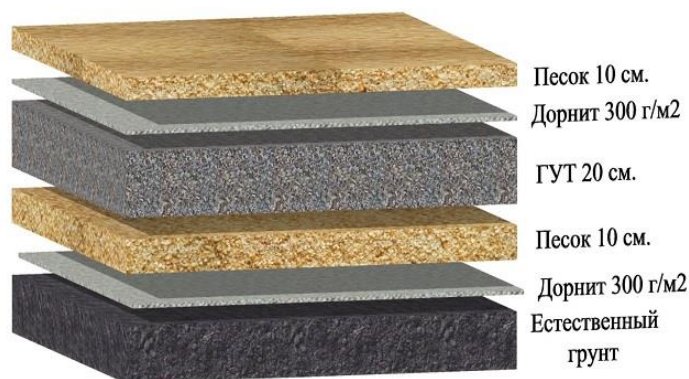


Рисунок 1. Структура создаваемого техногенного массива.

Полученные результаты. Полученные в результате проведения натурального эксперимента данные физико-механических, санитарно-химических и органолептических лабораторных исследований приведены в таблицах 1-3 [4].

Таблица 1. Санитарно-гигиенические показатели ОМО и геополимера ГУТ.

Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты исследований	
		ОМО	ГУТ
<i>Санитарно-химические показатели</i>			
Свинец	мг/кг	122	<0,02
Медь	мг/кг	22,5	0,85
Цинк	мг/кг	1430	<0,004
Никель	мг/кг	5,12	0,21
Кобальт	мг/кг	0,37	0,04
Марганец	мг/кг	61,8	<0,01

Хром	мг/кг	3,16	<0,02
Санитарно-бактериологические и паразитологические показатели			
Индекс БГТП	КОЕ/г	1000	<0,3
Индекс энтерококков	КОЕ/г	10	0
Патогенная кишечная микрофлора	-	не обнаружено	не обнаружено
Яйца и личинки гельминтов и цист патогенных простейших	-	не обнаружено	не обнаружено
Личинки и куколки синантропных мух	-	не обнаружено	не обнаружено

Определение санитарно-химических показателей производилось на образцах материала ГУТ, изготовленных по рецептуре №2 ввиду наиболее экономически оправданном количестве вносимых компонентов.

Таблица 3. Основные органолептические показатели исходного ОМО и геополимера ГУТ.

Определяемый показатель	ОМО	ГУТ
Внешний вид	Неоднородная масса с нарушенной структурой	Однородное вещество с монолитной структурой
Консистенция	Рыхлая, наблюдается легкая слеживаемость	Гомогенная плотная смесь
Запах	очень сильный (запах, настолько сильный, что не обратить на него внимание невозможно)	слабый (запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить на это внимание)
Цвет	Преимущественно коричневый (с разноцветными включениями)	Серый, с малоразличимыми разноцветными включениями
Энтомологическая активность	Наблюдается активность мух и насекомых, наличие в материале беспозвоночных	Активность мух и насекомых практически отсутствует, наблюдается гибель беспозвоночных

Внешний вид исходного ОМО и полученного на опытной площадке геополимера ГУТ приведены на рисунке 2.

Таблица 2. Основные физико-механические характеристики ГУТ, изготовленного на основе ОМО.

Компоненты	Процентное содержание, %				Процентное содержание, %				Процентное содержание, %			
	ОМО	55				70				70		
Глина	20				15				14			
МКД	15				10				8			
Цемент	10				5				8			
Определяемые характеристики	Время определения характеристик				Время определения характеристик				Время определения характеристик			
	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
<i>Изготовление смеси и формовка образцов в лабораторных условиях (сырье лабораторное)</i>												
R _{сж} (кгс/см ²)	5,93	8,20	10,40	12,30	4,70	6,50	7,00	7,60	5,90	7,30	7,50	9,40
ρ, (г/см ³)	1,90	1,92	1,97	1,98	1,78	1,80	1,78	1,77	1,78	1,80	1,79	1,78
K _в	0,67	0,68	0,70	0,71	0,67	0,68	0,68	0,69	0,68	0,68	0,71	0,71
G (%)	1,43	1,60	2,35	2,25	2,42	2,71	1,87	1,90	2,59	2,65	2,14	2,12
R _в (кгс/см ²)	3,95	5,60	7,30	8,73	3,10	4,40	4,80	5,24	4,00	5,00	5,30	6,67
П (%)	1,50	1,60	2,50	2,40	2,50	2,80	2,00	2,10	2,60	2,70	2,20	2,10
<i>Изготовление смеси на опытном участке, формовка образцов в лабораторных условиях</i>												
R _{сж} (кгс/см ²)	5,06	7,00	8,30	9,80	2,53	3,50	5,00	5,45	4,69	5,80	6,50	8,15
ρ, (г/см ³)	1,74	1,76	1,77	1,79	1,73	1,75	1,76	1,75	1,74	1,76	1,75	1,77
K _в	0,69	0,70	0,70	0,71	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,71	0,71
G (%)	2,15	2,41	1,85	1,90	3,65	4,09	3,01	3,10	1,63	1,67	2,55	2,45
R _в (кгс/см ²)	3,46	4,90	5,80	6,96	1,69	2,40	3,40	3,76	3,20	4,00	4,60	5,79
П (%)	2,25	2,40	1,90	1,95	3,66	4,10	3,00	3,00	2,70	2,80	2,60	2,50
<i>Изготовление смеси и формовка образцов в лабораторных условиях (сырье с опытной площадки)</i>												
R _{сж} (кгс/см ²)	7,59	10,50	11,70	13,80	4,48	6,20	7,10	7,74	6,79	8,40	9,10	11,42
ρ, (г/см ³)	1,85	1,87	1,87	1,86	1,80	1,82	1,82	1,85	1,83	1,85	1,85	1,86
K _в	0,69	0,70	0,72	0,71	0,68	0,69	0,70	0,71	0,70	0,70	0,71	0,71
G (%)	2,48	2,77	2,61	2,65	3,46	3,88	1,59	1,60	2,12	2,17	3,20	3,10
R _в (кгс/см ²)	5,22	7,40	8,40	9,80	3,03	4,30	5,00	5,50	4,72	5,90	6,50	8,11
П (%)	2,63	2,80	2,65	2,70	3,48	3,90	1,70	1,75	2,12	2,20	3,50	3,40



Рисунок 2. Внешний вид ОМО (слева) и геополимера ГУТ (справа).

Выводы: В целом, реализация ИММ-технологии для получения геокомпозита ГУТ с использованием ОМО, подтвердила возможность и целесообразность ее применения. В результате проведенных испытаний по всем основным задачам исследования удалось получить положительные результаты. Предложенная рецептура №2 подтвердила свою рациональность, как с экономической точки зрения, так и с точки зрения достижения необходимых физико-механических, санитарно-химических и органолептических показателей.

Литература:

1. Жабриков С.Ю. Использование ИММ-технологии для защиты литосферы при проведении работ по рекультивации загрязненных городских территорий. // Инновации и инвестиции. 2015. № 3. С. 239-241.
2. Жабриков С.Ю. Производство грунта укрепленного техногенного как способ снижения негативного антропогенного воздействия на литосферу // Материалы I Международная научно-практическая интернет-конференция «Геоэкохимия защиты литосферы» - Москва: Издательство «Спутник+», 2015 г.
3. Жабриков С.Ю., Кнатько М.В., Подлипский И.И., Пастухова В.А. Геополимеризация органоминерального отсева твердых коммунальных отходов с применением интеграционной минерально-матричной технологии. / Материалы XVI межвузовской молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016. (в печати).
4. Жабриков С.Ю., Кнатько М.В., Подлипский И.И., Пастухова В.А. Геоэкологический аспект конструктивных характеристик геополимера, изготовленного с использованием техногенных продуктов производства при реализации интеграционной минерально-матричной технологии. / Материалы XVI межвузовской молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016, (в печати);